

沉积学报
Acta Sedimentologica Sinica
ISSN 1000-0550, CN 62-1038/P

《沉积学报》网络首发论文

题目: 鄂尔多斯盆地马家沟组烃源岩受石炭系充填影响的研究
作者: 党文龙, 高岗, 刘建平, 刚文哲, 王成云, 杨尚儒, 雷宇, 张莉莉, 段延娟
DOI: 10.14027/j.issn.1000-0550.2021.133
收稿日期: 2021-07-20
网络首发日期: 2021-10-18
引用格式: 党文龙, 高岗, 刘建平, 刚文哲, 王成云, 杨尚儒, 雷宇, 张莉莉, 段延娟. 鄂尔多斯盆地马家沟组烃源岩受石炭系充填影响的研究[J/OL]. 沉积学报. <https://doi.org/10.14027/j.issn.1000-0550.2021.133>



网络首发: 在编辑部工作流程中, 稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定, 且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式(包括网络呈现版式)排版后的稿件, 可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定; 学术研究成果具有创新性、科学性和先进性, 符合编辑部对刊文的录用要求, 不存在学术不端行为及其他侵权行为; 稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准, 正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性, 录用定稿一经发布, 不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容, 只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认: 纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司签约, 在《中国学术期刊(网络版)》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版, 以单篇或整期出版形式, 在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊(网络版)》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物(ISSN 2096-4188, CN 11-6037/Z), 所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

文章编号：1000-0550(2021)00-0000-00

DOI：10.14027/j.issn.1000-0550.2021.133

鄂尔多斯盆地马家沟组烃源岩受石炭系充填影响的研究[□]

党文龙^{1,2}，高岗^{1,2}，刘建平³，刚文哲^{1,2}，王成云⁴，杨尚儒^{1,2}，
雷宇³，张莉莉^{1,2}，段延娟^{1,2}

1. 中国石油大学（北京）油气资源与探测国家重点实验室，北京 102249

2. 中国石油大学（北京）地球科学学院，北京 102249

3. 中国石油长庆油田分公司勘探事业部，西安 710018

4. 中国石油华北油田分公司勘探开发研究院，河北任丘 062552

摘要鄂尔多斯盆地奥陶系马家沟组是下古生界重要的勘探领域，蕴含了丰富的天然气资源，但有关奥陶系烃源岩影响因素的研究却相对较少，尤其是奥陶系溶蚀孔洞中石炭系充填的影响前人基本未做过研究，这些充填的泥岩会对奥陶系烃源岩的客观评价造成极大影响。基于烃源岩野外露头、岩心、测井曲线及地球化学参数等资料，对奥陶系溶蚀孔洞中充填的石炭系泥岩进行了地质、测井和地球化学综合识别，并在奥陶系海相碳酸盐岩烃源岩评价中提出了一种剔除石炭系充填影响的方法。研究表明：奥陶系风化壳及其邻近层段的烃源岩溶蚀孔洞中明显充填有石炭系泥岩，在野外露头、岩心上表现为溶洞、裂缝中充填有石炭系泥岩，测井曲线上表现为明显的高尖峰状自然伽马值；充填的石炭系泥岩干酪根碳同位素明显偏重，饱和烃分子组成表现为明显的后峰优势，与石炭系煤系烃源岩特征一致，而奥陶系自生泥岩干酪根碳同位素明显偏轻，饱和烃分子组成表现为前峰优势特征。根据单井泥岩发育特征和有机地化参数分布特征，将石炭系充填影响范围确定为距离风化壳顶面之下 100m 左右，并根据有机碳含量与深度关系对石炭系充填影响的有机碳数值进行校正。该认识提示在对奥陶系烃源岩，尤其是对靠近风化壳的奥陶系烃源岩地质与地化特征进行评价时一定要扣除石炭系泥岩充填的影响，从而客观评价奥陶系烃源岩。

关键词鄂尔多斯盆地；马家沟组；风化壳；石炭系充填；碳酸盐岩烃源岩

第一作者简介党文龙，男，1994 年出生，博士研究生，油气成藏与分布规律，E-mail: 1056218471@qq.com

通信作者高岗，男，教授，博士生导师，E-mail: gaogang2819@sina.com

中图分类号 P618.13 文献标志码 A

0 引言

鄂尔多斯盆地地下古生界奥陶系马家沟组地层中蕴含丰富的天然气资源，是下古生界重要的勘探领域^[1-3]。前人对鄂尔多斯盆地马家沟组及上古生界地层做了大量研究，包括沉积特征、天然气成因类型及来源、烃源岩特征以及成藏条件等，并取得了重要的进展和认识^[4-10]。马家沟组作为下古生界奥陶系勘探的重要接替领域，其烃源岩的客观评价对进一步勘探显得尤为重要。目前，部分学者认为奥陶系马家沟组存在有机质丰度高的规模性有效烃源岩^[11]，

收稿日期：2021-07-20；收修改稿日期：2021-10-02

基金项目：中国石油长庆油田分公司勘探事业部盆地东部天然气勘探项目组重大攻关项目（气探 2019-022）[Foundation: Major Key Projects of the Eastern Basin Natural Gas Exploration Project Team of the Exploration Division of PetroChina Changqing Oilfield Company (Gas Exploration 2019-022)].

也有部分学者认为马家沟组烃源岩有机质丰度相对较低,但也可作为有效的气源岩^[12-14]。笔者在研究中发现,奥陶系风化壳烃源岩主要为碳酸盐岩和薄层泥岩或云质泥岩^[13],但在奥陶系风化壳及其邻近的碳酸盐岩烃源岩溶蚀孔洞和裂缝中充填有石炭系泥岩,这些石炭系充填泥岩的有机碳含量明显高于奥陶系烃源岩本身,在客观评价奥陶系烃源岩时会造成极大影响,前人的研究中并未考虑石炭系充填的影响。因此,厘清奥陶系烃源岩溶蚀孔洞和裂缝中石炭系充填的影响,对奥陶系烃源岩的客观评价就显得格外重要。本文旨在根据烃源岩野外露头、岩心、测井和地球化学参数等资料,对奥陶系溶蚀孔洞中充填的石炭系泥岩进行地质、测井和地球化学等综合识别,研究其影响范围,并提出一种在奥陶系海相碳酸盐岩烃源岩评价中剔除石炭系充填影响的方法。该研究将有效指导奥陶系烃源岩的客观评价。

1 研究区地质概况

鄂尔多斯盆地位于华北地台西部,是发育在太古代和早元古代变质岩系结晶基底之上的具有多旋回特征的克拉通含油气盆地,面积约 $25 \times 10^4 \text{ km}^2$ ^[15]。鄂尔多斯盆地内部根据构造特征可划分为晋西挠褶带、陕北斜坡带、天环坳陷带、伊盟隆起、渭北隆起、西缘冲断带 6 个一级构造单元。研究区主要位于鄂尔多斯盆地中东部(图 1)。鄂尔多斯盆地中东部发育中、下奥陶统,地层抬升使得上奥陶统遭受剥蚀而缺失。中、下奥陶统为浅海相沉积,自下而上依次发育冶里组、亮甲山组和马家沟组。马家沟组分为马一段至马六段,其中马五段又细分为马五₁—马五₁₀亚段(图 1)。马一段、马三段和马五段为海退期沉积,主要发育泥质白云岩、泥岩及膏盐岩类。马二段、马四段和马六段主要为海侵期,岩性以泥晶灰岩为主^[13,16]。

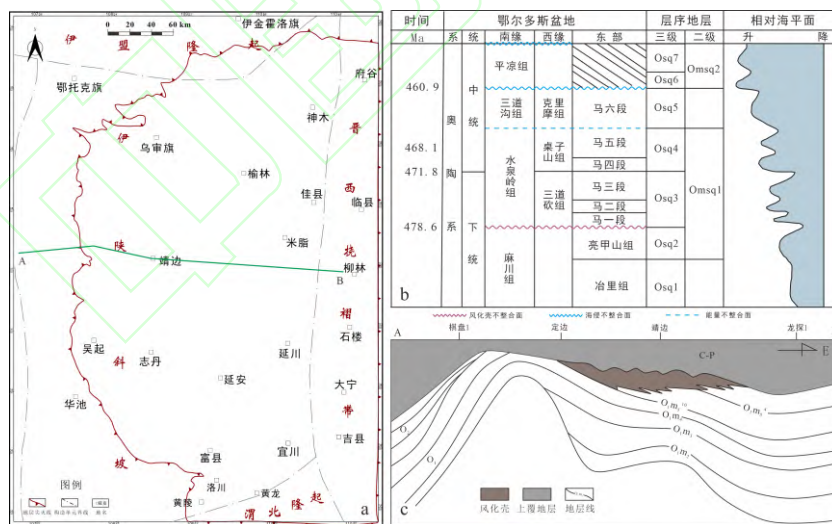


图 1 研究区位置、综合地层及风化壳剖面图

Fig.1 Location, comprehensive stratigraphic histogram, and weathering crust profile of the study area

鄂尔多斯盆地奥陶纪晚期地层抬升遭受长达几亿年的风化淋滤剥蚀,直到石炭纪再次接受沉积^[17]。马家沟组顶部形成了风化壳,马家沟组地层不同程度地受到风化壳渗滤的影响^[18-19](图 1),但受影响程度在东、西部区域不同。东部地层厚度大,不仅有巨厚的膏岩层,其上还有厚达 200 m 的盐上地层覆盖,故研究区东部盐下马五₆₋₁₀亚段未受风化作用的影响;

西部靠近尖灭线附近，盐上地层被剥蚀，盐下地层马五₆₋₁₀亚段直接接触石炭系本溪组，不同程度受到风化作用的影响。

2 石炭系充填特征及识别

2.1 石炭系充填特征

通过对研究区 170 余块岩心样品观察和测试分析发现，鄂尔多斯盆地下古生界奥陶系风化壳地层溶洞和裂缝中普遍充填着上古生界石炭系煤系泥岩，并在野外露头、岩心和测井中具有明显的特征。山西西碛口奥陶系野外露头显示（图 2），下古生界碳酸盐岩溶洞和裂缝中充填大量的石炭系泥岩，与奥陶系碳酸盐岩相比，充填的石炭系泥岩颜色明显较深，且沿着溶洞和裂缝规律分布。

钻井岩心也显示具有溶洞充填的典型特征（图 3），岩心中有明显的泥质充填结构，溶洞充填石炭系岩心特征表现在基质为奥陶系碳酸盐岩，呈不规则角砾状，有的颗粒边缘可以对接，但颗粒间为黑色泥岩，显示充填特征。

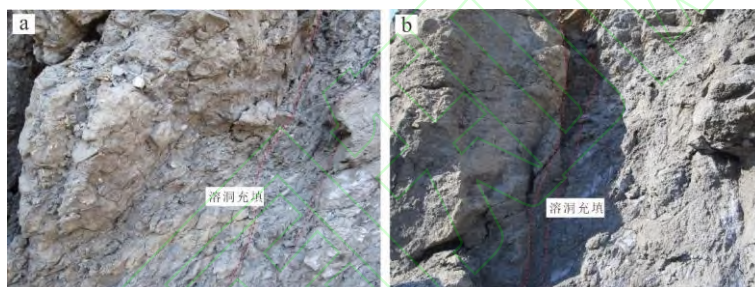


图 2 山西西碛口奥陶系野外露头溶洞充填特征

Fig.2 Filling characteristics of the Ordovician outcrop cave in Xiweikou, Shanxi province



图 3 奥陶系马家沟组溶洞充填石炭系泥岩的岩心照片

(a) 桃 111 井, 3021.9m, 马五₆亚段, 深灰色云质泥岩; (b) 桃 111 井, 3093.6m, 马五₈亚段, 深灰色云质泥岩; (c) 桃 109 井, 2958.44m, 马五₄亚段; (d) 桃 90 井, 3077.9m, 马五₄亚段; (e) 桃 61 井, 3355.35m, 马五₆亚段

Fig.3 Core photos of the Carboniferous mudstone filling in the Ordovician Majiagou Formation karst cave

2.2 单井特征及测井识别

除露头与岩心有明显的石炭系泥岩充填特征外，下古生界奥陶系风化壳及邻近层段地层溶洞和裂缝充填的石炭系煤系泥岩在测井曲线上也具有明显的响应特征^[20]。研究区靠近奥陶系尖灭线的井，大都可以在下古生界靠近风化壳顶部的地层中（主要为马五₁—马五₅亚段）发现受石炭系充填影响的层段，其特征为泥质含量高、GR 测井曲线出现异常高尖峰、刺状，明显异于上、下地层（图 4）。由于东部盐下地层有较厚的上覆膏盐岩，且距风化壳顶部较远，一般未受石炭系充填影响，受石炭系充填影响的地层主要分布在西部靠近奥陶系尖灭线附近。

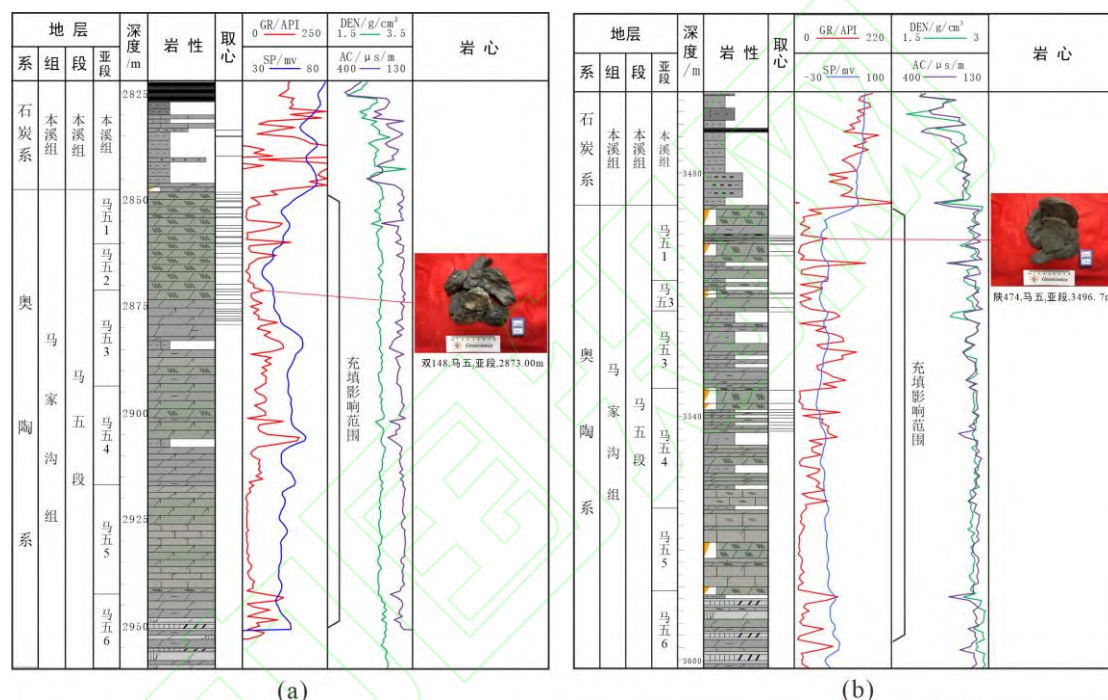


图 4 双 148 井 (a) 和陕 474 井 (b) 奥陶系溶洞充填测井响应特征

Fig.4 Logging characteristics of Ordovician cave filling in wells Shuang148 (a) and Shan 474 (b)

单井烃源岩综合柱状图显示（图 5），下古生界奥陶系岩性可划分为三种，分别为石炭系充填泥岩、奥陶系自生泥岩和奥陶系碳酸盐岩。石炭系充填泥岩出现在奥陶系碳酸盐岩溶蚀孔洞和裂缝中，主要分布在靠近风化壳顶界地层，其泥岩为灰黑色或黑色，成不规则充填状，TOC 含量明显高于其他岩性；奥陶系自生泥岩主要分布在马五₆亚段及下覆地层，为灰黑色或黑色，成平行纹层状或薄夹层状，TOC 含量也明显高于碳酸盐岩；奥陶系碳酸盐岩以灰白色或灰色白云岩、泥质白云岩、含云灰岩为主，分布范围广，TOC 含量明显低于前两者^[13]。

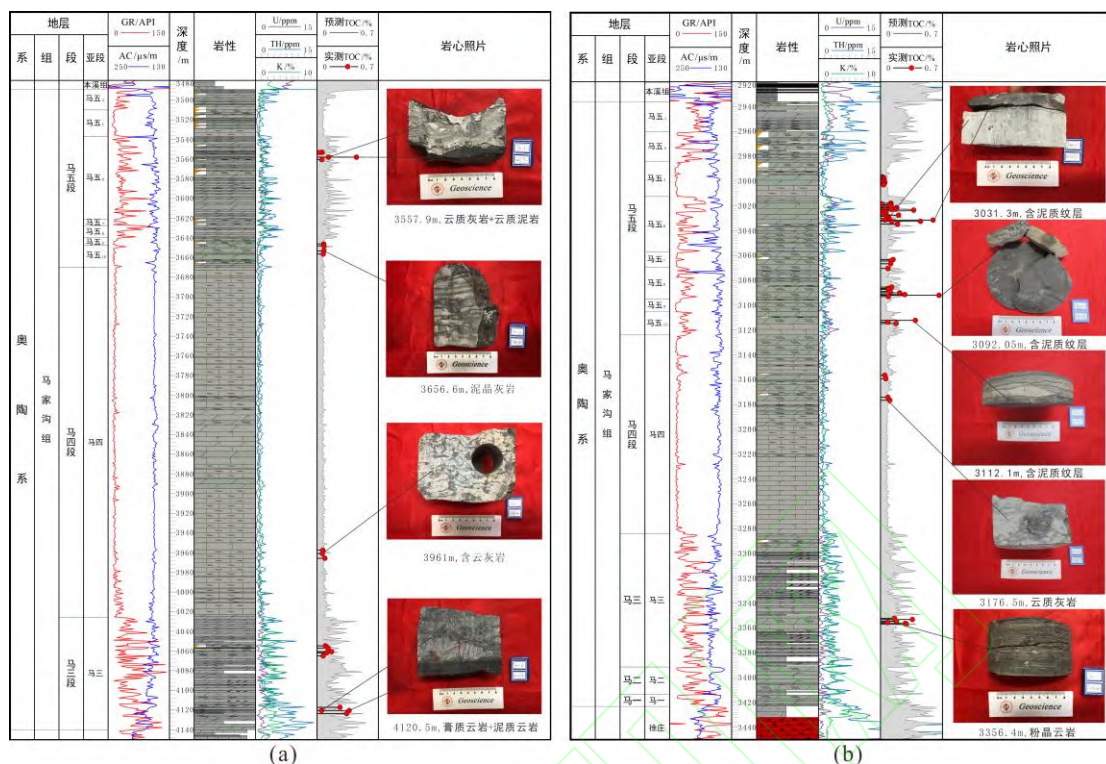


图5 桃61井(a)和桃111井(b)单井烃源岩有机碳及岩性特征

Fig.5 Organic carbon and lithological characteristics of the source rocks in wells Tao 61 (a) and Tao 111 (b)

2.3 烃源岩地球化学特征

已有研究表明, 上古生界石炭系烃源岩为腐殖型烃源岩, 而下古生界碳酸盐岩烃源岩为腐泥型^[14,21-22], 因此, 奥陶系充填的石炭系泥岩与奥陶系自生烃源岩地球化学特征应具有明显差异。由于研究区烃源岩大都处于高过成熟阶段, 岩石热解参数已不能有效区分两者, 故本文采用干酪根碳同位素和生物标志化合物参数来识别石炭系充填泥岩。充填泥岩干酪根碳同位素与奥陶系烃源岩具有明显差异(图6), 充填泥岩干酪根碳同位素值介于-27.5‰~-22‰, 而奥陶系自生泥岩夹层和奥陶系碳酸盐岩烃源岩干酪根碳同位素值相近, 介于-30.4‰~-25.5‰, 明显较充填泥岩干酪根碳同位素轻。

奥陶系马家沟组不同类型泥岩的生物标志化合物特征(图7)具有明显的相似性, 但不同类型又具有明显的差异。相似性主要体现在总离子流图(TIC)都呈双峰型, C₂₀、C₂₁、C₂₃三环萜烷呈上升型, 且相对含量明显高于C₃₀藿烷; 差异性表现在奥陶系碳酸盐岩溶洞中充填的石炭系泥岩饱和烃分子组成具有明显的后峰优势特征(图7b), 与上古生界石炭系本溪组泥岩色谱质谱图具有相似特征(图7a); 而下古生界奥陶系自生泥岩的饱和烃分子组成具有明显的前峰优势特征(图7c)。表明奥陶系充填的泥岩与石炭系泥岩具有很好的可对比性, 进一步证明奥陶系碳酸盐岩烃源岩受石炭系充填影响。

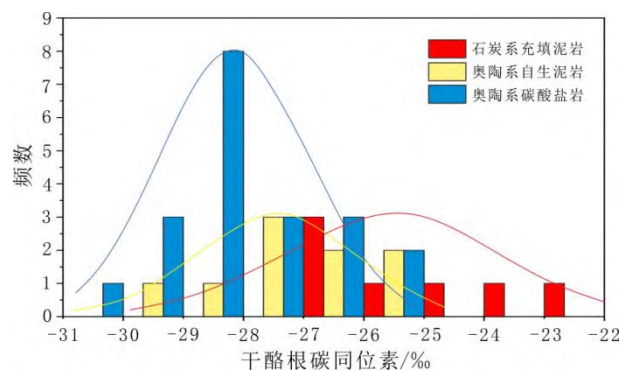


图6 鄂尔多斯盆地古生界不同类型烃源岩干酪根碳同位素频数分布图

Fig.6 Carbon isotope frequency distribution of kerogen in different types of Paleozoic source rocks in the Ordos Basin

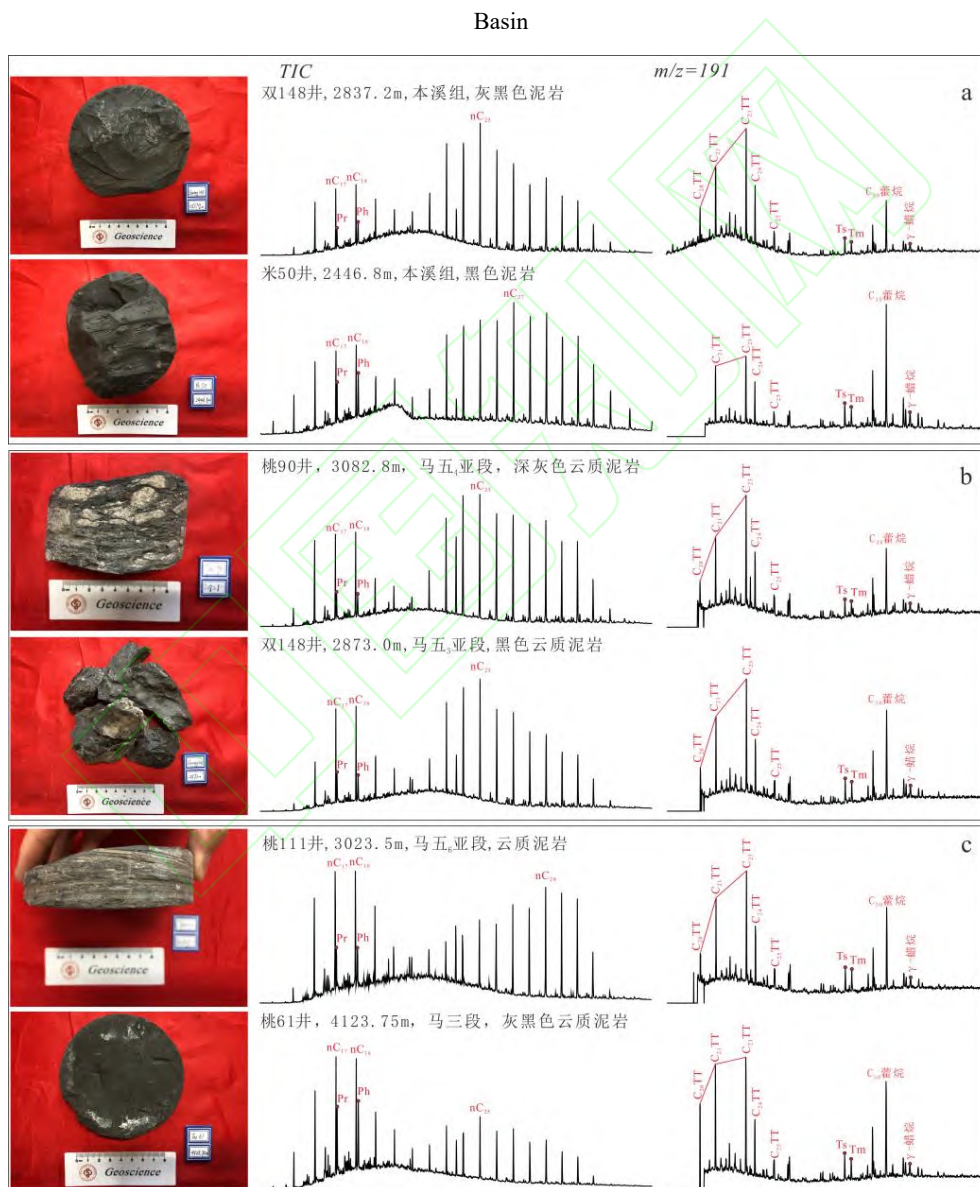


图7 鄂尔多斯盆地古生界不同类型泥岩饱和烃色谱质谱 (GS-MS) 对比图

Fig.7 Comparison of chromatography-mass spectrometry (GS-MS) of saturated hydrocarbons in different types of Paleozoic mudstones in the Ordos Basin

3 剔除石炭系充填影响的方法及结果

3.1 剔除石炭系充填影响的方法

为了进一步研究石炭系泥岩充填影响的深度范围，将研究区 170 个样品分为石炭系泥质充填、奥陶系碳酸盐岩和奥陶系自生泥岩三类，并绘制了其实测 TOC 含量与距风化壳顶距离关系图（图 8），其中石炭系泥质充填样品有机碳含量整体偏高，基本上都大于 0.2%，最高可达 0.61%，岩样基本分布在距风化壳顶 100 m 之内；奥陶系自生泥岩分布深度范围较广，其有机碳含量较石炭系充填样品低，TOC 含量约在 0.2%~0.4%之间；奥陶系碳酸盐岩有机碳含量明显偏低，绝大多数样品小于 0.2%，因此将石炭系的影响范围定为距离风化壳顶部 100 m 左右。

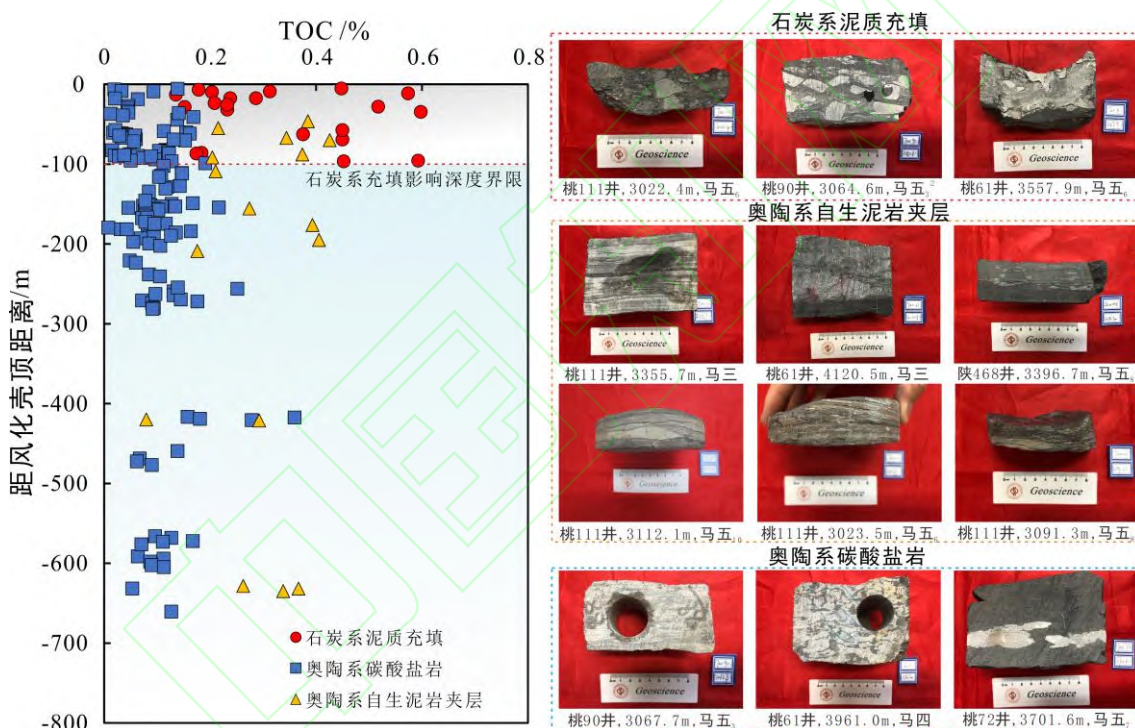


图 8 有机碳含量 (TOC) 与距风化壳顶距离关系图与典型岩心照片

Fig.8 Relationship between total organic carbon (TOC) and distance from the weathering crust top and typical core photos

根据单井不同层位预测 TOC 含量平均值与距离风化壳顶距离的关系图（图 9），奥陶系马家沟组各层段预测 TOC 含量均值与距离风化壳顶距离均呈负相关关系，即随着距离风化壳顶距离的增加，烃源岩的 TOC 含量逐渐减小。图 9 显示，马五₁—马五₅亚段距离风化壳顶部较近，基本都受到石炭系泥质充填的影响，而马五₆—马五₁₀亚段距离风化壳顶部小于 100 m 的部分也受到石炭系充填的影响，且层位越深，受影响越小。当距风化壳顶部距离小于 100 m 时，部分井预测平均 TOC 数值明显偏离趋势线，本文将这部分 TOC 含量异常

的原因归于受石炭系泥质充填的影响,并取趋势线上的数值作为未受石炭系影响的碳酸盐岩的 TOC 含量。在奥陶系烃源岩客观评价时,可将距风化壳顶部距离小于 100m 内的异常值校正到整体的趋势线上。

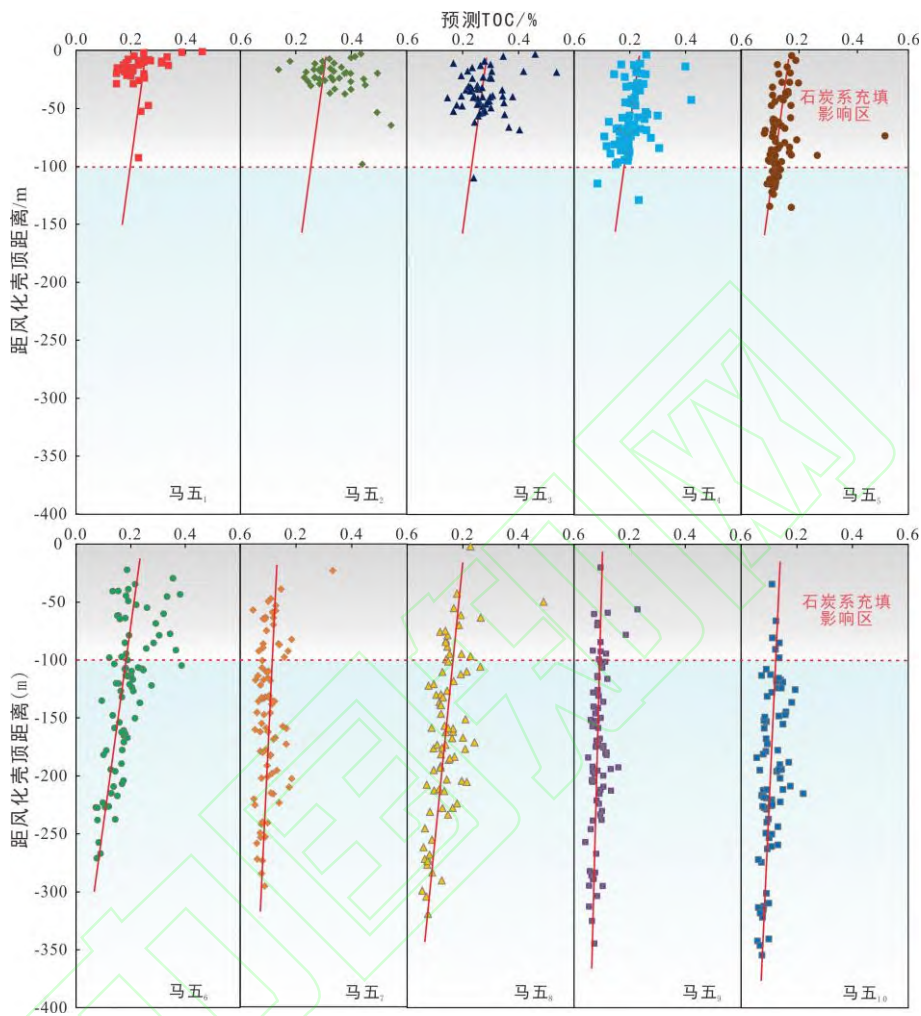


图9 鄂尔多斯盆地奥陶系马家沟组各层位预测有机碳值 (TOC) 与距风化壳顶距离关系图
 Fig.9 Relationship between predicted TOC and distance from the weathering crust top of the Ordovician Majiagou formation in the Ordos Basin

3.2 石炭系充填影响范围及校正结果

通过对研究区单井测井响应和有机碳分布规律分析,认为石炭系充填的影响范围约 100 m, 进而确定了不同层位石炭系影响的平面范围, 其中马五₆亚段和马五₇亚段的石炭系影响的平面分布如图 10 所示。石炭系影响的范围主要集中在研究区地层尖灭线的附近, 呈环带状分布, 且不同位置石炭系影响的范围有所差异。

以马五₇亚段为例, 预测 TOC 平面分布图显示(图 11), 在华池附近 TOC 含量异常高, 根据马五₇亚段 TOC 含量与距风化壳顶部距离关系, 对异常值进行校正, 校正后马五₇亚段预测 TOC 含量平面分布特征如图 11b 所示。

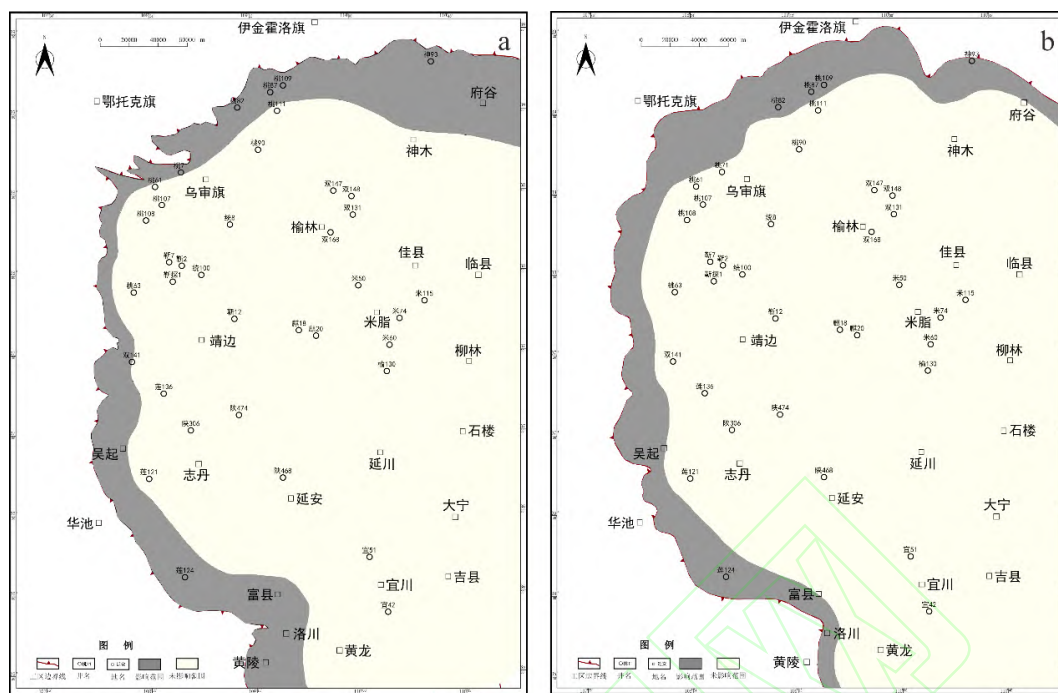


图 10 鄂尔多斯盆地奥陶系马五₆亚段 (a) 与马五₇亚段 (b) 石炭系泥质充填影响范围 (深色区)
 Fig.10 Influence range of the Carboniferous mudstone to the Ordovician Om₅⁶ (a) and Om₅⁷ (b) source rock in the Ordos Basin (shaded area)

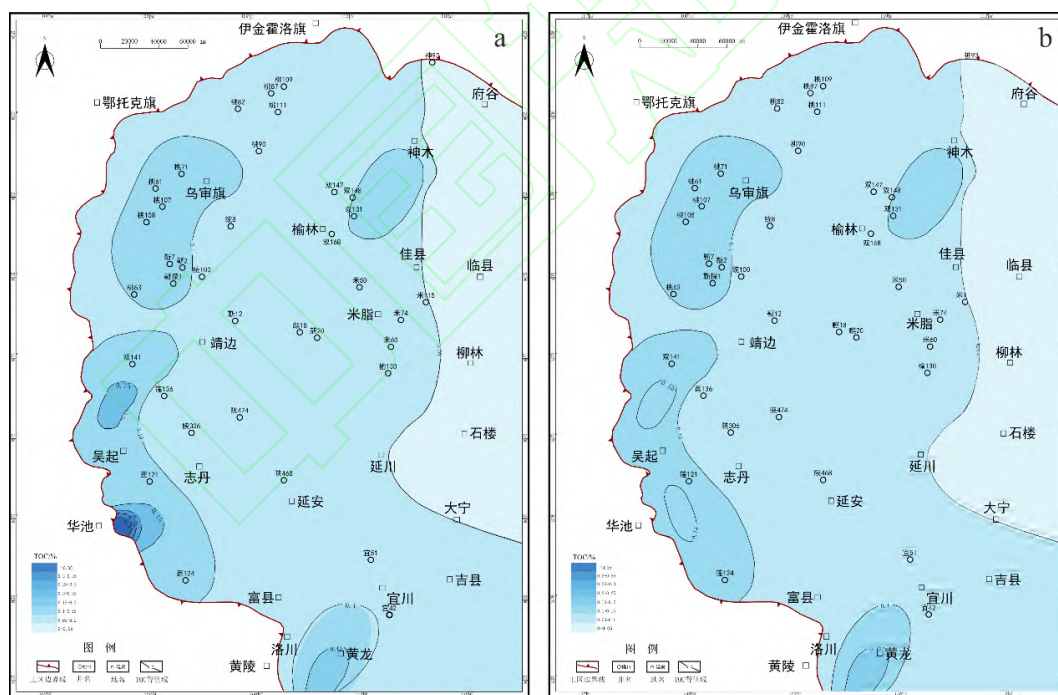


图 11 鄂尔多斯盆地奥陶系马五₇亚段烃源岩剔除石炭系充填影响前 (a) 后 (b) TOC 平面分布图
 Fig.11 Plane distribution of Om₅⁷ member TOC content before (a) and after (b) removal of the influence range of the Carboniferous mudstone to the Ordovician, Ordos Basin

4 结论

(1) 鄂尔多斯盆地地下古生界奥陶系马家沟组风化壳及其邻近层段烃源岩溶洞和裂缝中

明显充填有石炭系泥岩。在野外露头 and 岩心上表现为溶洞、裂缝中充填有石炭系泥岩，测井特征表现为 GR 曲线出现异常高尖峰、刺状，明显异于上、下地层。

(2) 下古生界奥陶系碳酸盐岩溶洞和裂缝中充填的石炭系泥岩干酪根碳同位素明显比奥陶系自生烃源岩重；饱和烃分子组成具有明显的后峰优势特征，与石炭系本溪组泥岩具有相似特征，而奥陶系自生泥岩具有明显的前峰优势特征。

(3) 根据单井石炭系泥岩发育特征和有机地化参数分布特征，确定石炭系泥质充填影响范围为距离风化壳顶面之下 100m 左右，主要在马五₁—马五₆亚段中，平面上主要呈环带状分布在奥陶系尖灭线附近。下古生界烃源岩有机碳含量与距风化壳顶部距离呈明显的线性关系，据此可对石炭系泥质充填影响的 TOC 异常值进行校正。

参考文献 (References)

- [1] 腾格尔, 刘文汇, 徐永昌, 等. 高演化海相碳酸盐烃源岩地球化学综合判识: 以鄂尔多斯盆地为例[J]. 中国科学 (D 辑): 地球科学, 2006, 36(2): 167-176. [Tenger, Liu Wenhui, Xu Yongchang, et al. Comprehensive geochemical identification of highly evolved marine carbonate rocks as hydrocarbon-source rocks as exemplified by the Ordos Basin[J]. Science China (Seri. D): Earth Sciences, 2006, 36(2): 167-176.]
- [2] 杨华, 付金华, 魏新善, 等. 鄂尔多斯盆地奥陶系海相碳酸盐岩天然气勘探领域[J]. 石油学报, 2011, 32(5): 733-740. [Yang Hua, Fu Jinhua, Wei Xinshan, et al. Natural gas exploration domains in Ordovician marine carbonates, Ordos Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2011, 32(5): 733-740.]
- [3] 孙晓, 王杰, 陶成, 等. 鄂尔多斯盆地大牛地古生界天然气地球化学特征及其来源综合判识[J]. 石油实验地质, 2021, 43(2): 307-314. [Sun Xiao, Wang Jie, Tao Cheng, et al. Evaluation of geochemical characteristics and source of natural gas in Lower Paleozoic, Daniudi area, Ordos Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2021, 43(2): 307-314.]
- [4] 赵林, 夏新宇, 洪峰. 鄂尔多斯盆地中部气田上古生界气藏成藏机理[J]. 天然气工业, 2000, 20(2): 17-21. [Zhao Lin, Xia Xinyu, Hong Feng. Upper Palaeozoic gas reservoir formation mechanism of the central gas field in Ordos Basin[J]. Natural Gas Industry, 2000, 20(2): 17-21.]
- [5] 谢增业, 李剑, 伍大茂, 等. 鄂尔多斯盆地奥陶系烃源岩有机显微组分特征及意义[J]. 海相油气地质, 2003, 8(1/2): 35-39. [Xie Zengye, Li Jian, Wu Damao, et al. The features and significance on organic maceral of Ordovician source rock in Ordos Basin[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2003, 8(1/2): 35-39.]
- [6] 杨华, 张文正, 咎川莉, 等. 鄂尔多斯盆地东部奥陶系盐下天然气地球化学特征及其对靖边气田气源再认识[J]. 天然气地球科学, 2009, 20(1): 8-14. [Yang Hua, Zhang Wenzheng, Zan Chuanli, et al. Geochemical characteristics of Ordovician subsalt gas reservoir and their significance for reunderstanding the gas source of Jingbian Gasfield, East Ordos Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2009, 20(1): 8-14.]
- [7] 杨华, 包洪平, 马占荣. 侧向供烃成藏: 鄂尔多斯盆地奥陶系膏盐岩下天然气成藏新认识[J]. 天然气工业, 2014, 34(4): 19-26. [Yang Hua, Bao Hongping, Ma Zhanrong. Reservoir-forming by lateral supply of hydrocarbon: A new understanding of the formation of Ordovician gas reservoirs under gypsolyte in the Ordos Basin[J]. Natural Gas Industry, 2014, 34(4): 19-26.]
- [8] 郭彦如, 付金华, 魏新善, 等. 鄂尔多斯盆地奥陶系碳酸盐岩成藏特征与模式[J]. 石油勘探与开发, 2014, 41(4): 393-403. [Guo Yanru, Fu Jinhua, Wei Xinshan, et al. Natural gas accumulation and models in Ordovician carbonates, Ordos Basin, China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2014, 41(4): 393-403.]
- [9] 谢云欣, 周文, 过敏, 等. 我国中部盆地古老碳酸盐岩有效烃源岩存在的典型实例分析[J]. 岩性油气藏, 2016, 28(6): 16-22. [Xie Yunxin, Zhou Wen, Guo Min, et al. Typical cases analysis of effective source rocks existence in ancient carbonate rock in the Middle basins of China[J]. Lithologic Reservoirs, 2016, 28(6): 16-22.]

- [10] 舒鹏程, 冯强汉, 许淑梅, 等. 鄂尔多斯盆地西部奥陶系风化壳岩溶作用模式: 以苏里格气田桃 2 区块马五 1-4 亚段为例[J/OL]. 沉积学报: 1-18. <https://doi.org/10.14027/j.issn.1000-0550.2021.073>. [Shu Pengcheng, Feng Qianghan, Xu Shumei, et al. Model of weathering crust karstification in the Ordovician, western Ordos Basin: Example of Mawu 1 - 4 sub-members of the Majiagou Formation in Tao2 block[J/OL]. Acta Sedimentologica Sinica: 1-18 [2021-07-20]. <https://doi.org/10.14027/j.issn.1000-0550.2021.073>.]
- [11] 涂建琪, 董义国, 张斌, 等. 鄂尔多斯盆地奥陶系马家沟组规模性有效烃源岩的发现及其地质意义[J]. 天然气工业, 2016, 36(5): 15-24. [Tu Jianqi, Dong Yiguo, Zhang Bin, et al. Discovery of effective scale source rocks of the Ordovician Majiagou Fm in the Ordos Basin and its geological significance[J]. Natural Gas Industry, 2016, 36(5): 15-24.]
- [12] 陈义才, 杨知敏, 王思航, 等. 鄂尔多斯盆地马家沟组烃源岩有效排烃有机质丰度下限探讨: 以龙探 1 井为例[J]. 天然气地球科学, 2014, 25(11): 1718-1726. [Chen Yicai, Yang Zhimin, Wang Sihang, et al. Discussion on the Lower limit of organic abundance of effective hydrocarbon expulsion for the source rock from Majiagou Formation in Ordos Basin: Taking the well Longtan 1 as an example[J]. Natural Gas Geoscience, 2014, 25(11): 1718-1726.]
- [13] 姚泾利, 王程程, 陈娟萍, 等. 鄂尔多斯盆地马家沟组盐下碳酸盐岩烃源岩分布特征[J]. 天然气地球科学, 2016, 27(12): 2115-2126. [Yao Jingli, Wang Chengcheng, Chen Juanping, et al. Distribution characteristics of subsalt carbonate source rocks in Majiagou Formation, Ordos Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2016, 27(12): 2115-2126.]
- [14] 刘丹, 张文正, 孔庆芬, 等. 鄂尔多斯盆地古生界烃源岩与天然气成因[J]. 石油勘探与开发, 2016, 43(4): 540-549. [Liu Dan, Zhang Wenzheng, Kong Qingfen, et al. Lower Paleozoic source rocks and natural gas origins in Ordos Basin, NW China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2016, 43(4): 540-549.]
- [15] 杨俊杰, 裴锡古. 中国天然气地质学卷四: 鄂尔多斯盆地[M]. 北京: 石油工业出版社, 1996. [Yang Junjie, Pei Xigu. Natural gas geology in China Vol.4: Ordos Basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1996.]
- [16] 左滔滔, 胡忠贵, 杨威, 等. 鄂尔多斯盆地中东部马家沟组盐下构造—沉积响应特征[J]. 海相油气地质, 2021, 26(2): 141-149. [Zuo Mingtao, Hu Zhonggui, Yang Wei, et al. Characteristics of structural-sedimentary response of the subsalt reservoir of Majiagou Formation in central-eastern Ordos Basin[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2021, 26(2): 141-149.]
- [17] 何自新. 鄂尔多斯盆地演化与油气[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003: 54. [He Zixin. Evolution of Ordos Basin and oil and gas [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003: 54.]
- [18] 黄道军, 文彩霞, 季海钊, 等. 鄂尔多斯盆地东部奥陶系风化壳储层特征及主控因素分析[J]. 海相油气地质, 2009, 14(3): 10-18. [Huang Daojun, Wen Caixia, Ji Haikun, et al. Characteristics and key controlling factors of Ordovician weathering karst crust reservoir in the eastern part of Ordos Basin[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2009, 14(3): 10-18.]
- [19] 韩波, 冯乔, 赵振宇, 等. 鄂尔多斯盆地中东部奥陶系风化壳岩溶特征及储层分析[J]. 海洋地质前沿, 2011, 27(5): 24-30. [Han Bo, Feng Qiao, Zhao Zhenyu, et al. Ordovician karst weathering crust and reservoirs in central and eastern Ordos Basin[J]. Marine Geology Frontiers, 2011, 27(5): 24-30.]
- [20] 李英菊. 塔河油田奥陶系古岩溶洞穴充填特征及其油气响应[D]. 荆州: 长江大学, 2020. [Li Yingju. The fillings and hydrocarbon of Ordovician paleo-caves in Tahe oilfield[D]. Jingzhou: Yangtze University, 2020.]
- [21] 李贤庆, 胡国艺, 李剑, 等. 鄂尔多斯盆地中东部上古生界天然气地球化学特征[J]. 石油天然气学报, 2008, 30(4): 1-4. [Li Xianqing, Hu Guoyi, Li Jian, et al. The geochemical characteristics of Upper Paleozoic natural gases in the central and eastern parts of the Ordos Basin[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2008, 30(4): 1-4.]
- [22] 顾超, 曹建康, 庄一鹏, 等. 鄂尔多斯盆地旬宜区块上古生界烃源岩地球化学特征[J]. 西北地质, 2020, 53(2): 263-269. [Gu Chao, Cao Jiankang, Zhuang Yipeng, et al. Geochemical characteristics of Upper Paleozoic source rocks in Xunyi block, Ordos Basin[J]. Northwestern Geology, 2020, 53(2): 263-269.]

Influence of Carboniferous Filling on the Source Rocks of the Majiagou Formation, Ordos Basin

DANG WenLong^{1,2}, GAO Gang^{1,2}, LIU JianPing³, GANG WenZhe^{1,2},
WANG ChengYun⁴, YANG ShangRu^{1,2}, LEI Yu³, ZHANG LiLi^{1,2}, DUAN YanJuan^{1,2}

1.State Key Laboratory of Petroleum Resources and Prospecting, China University of Petroleum (Beijing), Beijing 102249, China

2.College of Geosciences, China University of Petroleum (Beijing), Beijing 102249, China

3.Exploration Division of PetroChina Changqing Oilfield Company, Xi'an 710018, China

4. Exploration and Development Research Institute of PetroChina Huabei Oilfield Company, Renqiu, Hebei 062552, China

Abstract: The Ordovician Majiagou formation is an important exploration field of the Lower Paleozoic in the Ordos Basin, which contains rich natural gas resources. However, there are relatively few studies on the influencing factors of the Ordovician source rocks, especially the influence of Carboniferous filling in Ordovician dissolution holes, which has not been previously studied. These mudstones have a great impact on the objective evaluation of the Ordovician source rocks. Based on the source rock field outcrop, core, logging curve, and geochemical parameter data, this paper comprehensively identifies the Carboniferous source rock filling in the Ordovician dissolution hole through geological and logging observations and proposes a method to eliminate the influence of Carboniferous filling in the evaluation of the Ordovician Marine Carbonate Source rock. The research shows that the dissolution holes of the source rocks in the Ordovician weathering crust and its adjacent intervals are obviously filled with Carboniferous mudstone, the karst caves and fractures of outcrops and cores are filled with Carboniferous mudstone, and the logging curves show obviously high peak natural gamma(GR) values. The carbon isotope of kerogen in the filled Carboniferous mudstone is obviously heavier, and the molecular composition of the saturated hydrocarbon shows an obvious post peak advantage, which is consistent with the characteristics of the Carboniferous coal measure source rocks, while the carbon isotope of kerogen in the lower Paleozoic authigenic mudstone is obviously lighter, and the molecular composition of the saturated hydrocarbon shows pre peak advantage. According to the development characteristics of a single well of Carboniferous mudstone and the distribution characteristics of the organic geochemical parameters, the influence range of Carboniferous filling is determined to be about 100 m below the top surface of the weathered crust, and the value of the Carboniferous filling influence can be corrected according to the relationship between organic carbon content and depth. This understanding suggests that the influence of Carboniferous mudstone must be deducted when evaluating the geological and geochemical characteristics of the Ordovician source rocks, especially those close to the weathering crust, so as to retain objectivity.

Key words: Ordos Basin; Majiagou Formation; weathering crust; Carboniferous filling; carbonate source rock